



TITLE:

低品位炭改質プロセスにおける各要素技術のモデル化に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

重久, 卓夫

CITATION:

重久, 卓夫. 低品位炭改質プロセスにおける各要素技術のモデル化に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r12960>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	重久卓夫
論文題目	低品位炭改質プロセスにおける各要素技術のモデル化に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>今後のエネルギーセキュリティを考えると、安価で広範囲に大量に賦存する褐炭を有効利用していくことは重要である。しかし、褐炭は大量の水分を含んでおり、これを高品位な資源にするには、効率的な改質技術の開発が必須である。本論文では、現在開発中の油中改質炭製造プロセスにおいて、成型、貯蔵各工程のスケールアップ、製品品質評価に利用可能な工学モデルに関する研究の成果をまとめたものであり、緒論、5章、総括から成っている。</p> <p>緒論では、低品位炭改質全般を、その改質原理で分類、実際のプロセス開発事例を紹介しながらレビューしている。続いて、その中のひとつである改質炭製造プロセス開発の経緯を、大型実証プロジェクトを中心にスケールアップ上の課題などを交えつつ説明し、現状の課題を整理したのち、本研究のねらいと目的を明らかにしている。</p> <p>第1章では、改質炭の成型機を実験室規模から大型実証機までスケールアップに関する検討を行っている。まずスケールアップに伴い形状・寸法が変化する成型物を対等に評価するべく、従来の破壊時の載荷板荷重評価を改めて、FEM解析を使って換算断面積を定義して載荷板荷重を圧壊強に換算する方法を提案している。次に、一軸圧縮試験機と Jenike 試験機でそれぞれ圧力密度曲線と粉体内部摩擦データを測定し、改質炭が Coulomb 粉体であることを確認している。これらをもとに Johanson モデルによるニップゾーンの圧力分布計算を用いてブリケット厚みを変えた感度分析を行い、大型実証機のデータと比較し、定性的には妥当ながら、定量的には課題（最大圧の過剰推算など）が見つかり、改質炭に適用するには、何らかの改善が必要であることを見出している。</p> <p>第2章では、第1章で抽出された Johanson モデルの課題の解決法を検討している。Johanson モデルは、フラットロールを模擬しているので粉体の圧力分布は進行方向に向かって連続的に上昇するが、改質炭成型機の場合、ニップゾーンの高さに対してポケットが大きいので、ポケット内圧力が均一になるという仮定で、Johanson 法で計算した圧力分布を、面積等価の階段状の圧力分布に換算することで実測と一致することを見出している。この改良 Johanson モデルと消費動力から推定した成型圧と圧壊強度の関係を調べた結果、スケールアップの間も圧壊強度と成型圧の線形関係は維持されるが、その比例定数はスケールアップとともに小さくなることを明らかにしている。改質炭のブリケットは脆性材料であり、圧壊強度は Weibull 関数に従う分布を示す。Weibull 分布の不均一性係数は、スケールアップの間も同じ値に維持されるので、脆性材料の寸法効果理論により、スケールアップに伴う前述の比例定数の劣化を説明できることを示している。さらに、脆性材料の寸法効果と加圧の異方性によるファクターを考慮することで、実験室規模の成型物の強度から、大型機の成型物強度を推定する方法を開発している。このように、改良 Johanson モデルから実験室規模の装置と同じ成型圧を有する大型機の設計諸元を推定でき、改質炭に関して成型機と成型物を包括したスケールアップ理論を構築している。</p> <p>第3章では、改質炭とその関連サンプル（原料石炭の生炭・乾燥炭）の水の吸脱</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	重 久 卓 夫
<p>着等温線を比較し、生炭の脱着等温線と乾燥履歴後の再脱着等温線には大きな差があるが、これは生炭が不可逆的な細孔の大幅な収縮を経て乾燥炭になったことを示すとともに、改質炭の吸脱着線形状も乾燥炭に類似していることから、同様の履歴を有していることを明らかにしている。また吸脱着等温線は、湿度 0～100%の全範囲に広がる大きなヒステリシスを持ち、改質炭の場合も乾燥炭同様に吸脱着が細孔の膨張・収縮を伴っているものと理解される。改質炭製造プロセスの特徴から、少量ではあるが改質炭の表面上に存在する油分によって表面性状が疎水性に変化していることを、等量吸着熱から推算した湿潤熱の減少により実証している。</p> <p>第 4 章では、改質炭やその関連サンプルの吸脱着等温線の数学モデルを検討している。Polanyi プロットによる特性曲線から、改質炭の吸着水は、広域に多様で連続的な分布を有すること、改質炭の吸脱着等温線のある程度近似できるモデルとして Henderson モデルが最善であることを示している。このモデルをもとに、まず水分を飽和水分で割って無次元化すると温度に拠らなくなることを見出している。次に、湿度を水分の Weibull 関数で表現する手法を提案し、(1) Weibull 関数として解釈した場合の形状係数 b の大きさは水と表面間の結合力の質的な強さと正の相関がある。(2) b 値を 0 から大きな値まで変化させると、UBC その関連サンプルのみならず、バルク水から結晶水など多様な水を表現できる。(3) 生炭の脱水は、前半は $b=1$ であり、その後脱水が進むと、$b=2$ に変化し、この変化は Weibull プロット上の屈曲点として検出される。この b 値の変化が第 3 章で言及した乾燥履歴による不可逆的な乾燥収縮に相当すると考えられた。(4) 改質炭・乾燥炭の b 値は、吸着線では約 1.9、脱着線では約 2.5 であり、ともに 1 より大きいので吸着水と表面の結合は高水分ほど弱くなると考えられる。また改質炭と乾燥炭で同じであることから、両者の吸着水の表面との結合力の分布は質的には似ていること、ということを明らかにしている。</p> <p>第 5 章では、改質炭とその関連サンプルの水の吸脱着速度を測定してその速度モデルを求め、生炭の脱着速度には擬 1 次モデルが、乾燥履歴のある改質炭および乾燥炭には擬 2 次または Elovich モデルが良く適合することを示し、これは乾燥履歴の有無で水分の吸着形態が変化していることに対応していることを明らかにしている。次に、Elovich モデルに、平衡水分の概念を含む変数変換処理を行い、温度や平衡水分を含む Index を介して、モデルの係数を任意条件下で推定できるように改良している。これによって、任意条件下の吸脱着速度を推定する手法の確立に成功している。</p> <p>最後に、総括では上記の結論を総括するとともに、今後、残された課題を整理している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

褐炭は大量の水分を含んでおり、これを高品位な資源にするには、効率的な改質技術の開発が必須である。本論文では、現在開発中の油中改質炭製造プロセスにおいて、成型、貯蔵各工程のスケールアップ、製品品質評価に利用可能な工学モデルに関する研究の成果をまとめたものであり、得られた成果は次のとおりである。

1. 有限要素法を使って、既往の工学モデルで不可能であったスケールアップ時の製品強度を表現できる新指標を提案した。
2. 既往の工学モデルで利便性のある Johanson モデルに基づき、粉体の圧力密度曲線をステップ関数として処理したモデルを提案し、既存の手法と異なり、製品強度という品質保証した状態で、成型装置を任意にスケールアップする手法を確立した。
3. 貯蔵時の水分吸着に伴う発熱を評価するために、油中脱水褐炭とその原料である生褐炭における水の吸脱着等温線を測定して、水の吸着形態を検討した。
Clausius-Clapeyron 式から求めた等量吸着熱による定量的解析から、油中脱水褐炭の表面は空気乾燥炭より疎水的であることを示し、本法による脱水褐炭製品が湿潤熱による大幅な蓄熱で発火する危険性は小さいことを明らかにした。
4. 3. の結果に基づき褐炭の水分吸脱着等温線の数学モデルを検討した。種々の経験モデルの中で実測値を良好に表現できる Henderson モデルを Weibull 関数として取り扱い、吸着水と表面間の親和力分布や水の吸着形態を識別する手法を開発し、その有効性を示した。
5. 貯蔵時の褐炭の水分吸脱着速度の数学モデルとして、吸脱着平衡を考慮した改良 Elovich モデルを提案し、設計に資することを明らかにした。

以上、本論文は、褐炭利用に不可欠な改質プロセスの設計に必要な成型、貯蔵操作に対して、力学、物理化学に裏打ちされた数学モデルを提案し、そのスケールアップ設計への有効性を定量的に明らかにしており、新規で有用な知見を多く含んでおり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 8 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。